



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 54 918 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 M 13/00**  
G 01 M 15/00  
G 01 M 7/02  
G 06 F 3/00  
G 05 B 13/04

⑳ Aktenzeichen: 197 54 918.7  
㉔ Anmeldetag: 10. 12. 97  
④③ Offenlegungstag: 18. 6. 98

**DE 197 54 918 A 1**

③⑩ Unionspriorität:  
763965 10. 12. 96 US

㉑ Anmelder:  
Caterpillar Inc., Peoria, Ill., US

㉒ Vertreter:  
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

㉓ Erfinder:  
Grichnik, Anthony J., Peoria, Ill., US

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verbesserungen beim Komponentenmaschinentest unter Verwendung einer von einem neuronalen Netzwerk verarbeiteten Schwingungsdatenanalyse

⑤⑦ Eine Komponentenmaschinentesttechnik ist vorgesehen, die eine Diagnoseanalyse eines Schwingungssignals der Komponentenmaschine ausführt, die von dem Leistungs- und Belastungsmaschinenhintergrundrauschen in einem ersten neuronalen Netzwerk getrennt worden ist. Die Diagnoseanalyse verwendet mit einer Bedienerrweisung durch eine interaktive Schnittstelle ein zweites neuronales Netzwerk bei der Ausführung einer Reihe von Diagnosevorgängen, und zwar gefolgt durch eine Archivierung von irgendeiner Erfahrung, die in dem gerade ausgeführten Testvorgang aufgenommen wurde. Bei der Diagnoseanalyse werden sowohl zeit- als auch frequenzbasierte Schwingungssignalinformationen von der gerade getesteten Komponentenmaschine zusammen unter Anweisung des Bedieners durch eine simultane interaktive Schnittstelle mit mehrfacher Anzeige verwendet.

**DE 197 54 918 A 1**

Die Erfindung bezieht sich auf die Diagnose und den Bewertungstest einer Komponentenmaschine, wie beispielsweise einem Getriebe, welche wiederum ein Teil einer größeren Maschineneinheit ist, wie beispielsweise von einem Fahrzeug, und insbesondere auf ein Testsystem, welches die Verarbeitung von Schwingungsdaten mit einem neuronalen Netzwerk verwendet, und zwar mit einer Bewertung und Speicherung von Erfahrung durch eine interaktive Anwenderschnittstelle.

Die Diagnose und der Bewertungstest einer Komponentenmaschine, wie beispielsweise eines Getriebes, welche Teil einer größeren Maschineneinheit ist, bringt eine Anzahl von einzigartigen Betrachtungen mit sich.

Die Komponentenmaschine selbst ist gewöhnlicherweise eine komplexe Vorrichtung, die eine komplizierte Anordnung von Teilen enthält, die in einem ein Schmiermittel enthaltenden Gehäuse abgedichtet sind.

Das Gehäuse und die Schmierung können Schwingungssignale dämpfen und verzerren. Die Komponentenmaschine selbst ist im allgemeinen groß und schwer, so daß allein ihre Bewegung in eine Testumgebung ein beträchtlicher Aufwand ist.

Im Test muß die Maschinenkomponente mit variabler Leistung und Belastung über dem vorgesehenen Betriebsbereich versorgt werden. Dies erzeugt eine Situation, wo die Schwingungssignale von der Komponentenmaschine, die zu analysieren sind, in einem Geräusch- bzw. Rauschband enthalten sind, welches von irgendwelchen Testleistungs- und -belastungsmechanismen erzeugt wird, und die es schwierig machen, das nützliche Komponentenmaschinen-Schwingungssignal herauszuziehen.

Der tatsächliche Testvorgang kann unter vielen verschiedenen Umständen auftreten. Er kann beispielsweise in einer Herstellungs- oder Reparaturumgebung auftreten, wo die Komponentenmaschine hergestellt wird, er kann in einer Reparaturwerkstatt im Fahrzeug oder unabhängig vom Fahrzeug auftreten, oder er kann am Einsatzort in der größeren Maschineneinheit montiert auftreten. Es ist von Vorteil, den Testvorgang zu irgendeinem Zeitpunkt zu unterbrechen, wenn das Ziel des speziellen Testvorgangs erreicht worden ist.

Beim Test wäre es wünschenswert, sobald die Testumstände eingerichtet worden sind, daß man fähig ist, zu testen, ob die Leistung der Komponentenmaschinenvorrichtung zufriedenstellend ist, und irgendeine Stelle in der gerade getesteten Komponentenmaschine zu identifizieren, die für irgendeine Abweichung von der zufriedenstellenden Leistung verantwortlich ist.

Die Schwingungsanalyse mit neuronalen Netzwerken ist in der Technik verwendet worden, um Probleme bei sich drehenden Maschinen zu identifizieren und zu diagnostizieren. Insbesondere ist die Anwendung einer Schwingungsanalyse durch ein neuronales Netzwerk in der Maschinendiagnostik eingesetzt worden. Als ein Beispiel wird im US-Patent 5 361 628 der Diagnostest und die Klassifizierung von Automotoren unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks beschrieben, und zwar mit Untersampeln (subsampling) und einer Filterung zur Reduzierung eines Schwingungssignalbandes, um das neuronale Netzwerk nicht zu überlasten.

Die aus einem fortlaufenden Aufwand entwickelte Erfindung, die die Maschinenschwingungsanalyse über ein neuronales Netzwerk aufweist, ist in den folgenden US-Patentanmeldungen dargelegt, die der Anmelderin der vorliegenden Erfindung zu eigen sind und hier durch Bezugnahme aufgenommen sein.

US-Patent 5 602 761, ausgegeben am 11. Februar 1997,

betitelt "Machine Performance Monitoring and Fault Classification Using an Exponentially Weighted Moving Average" von den Erfindern Julie M. Spoorre, Chang Ching Lin und Hsu Pin Wang.

5 US-Patent 5 566 092, ausgegeben am 15. Oktober 1996, betitelt "Machine Fault Diagnostics System and Method" von den Erfindern Hsu Pin Wang, Hsin-Hoa Nuang, Gerald M. Knapp, Chang Ching Lin, Shui-Shun Lin und Julie M. Spoorre.

10 US-Patent 5 566 273, ausgegeben am 15. Oktober 1996, betitelt "Supervised Training of a Neural Network" von den Erfindern Hsin-Hoa Nuang, Shui-Shun Lin, Gerald M. Knapp und Hsu Pin Wang.

Mit dem Fortschritt der Technik erzeugt die Komplexität der erforderlichen Testvorgänge zum Klassifizieren und Identifizieren von Problemen bei physisch größeren, schwereren und komplexeren Komponentenmaschinen eine Notwendigkeit für ein leichter begreifendes bzw. leistungsfähigeres Komponentenmaschinenbewertungssystem.

20 Eine Komponentenmaschinentesttechnik wird vorgesehen, die identifizieren kann, ob die Leistungsspezifikationen erfüllt werden, und die eine Diagnoseanalyse an einem Schwingungssignal der Komponentenmaschine ausführen kann. Die Testtechnik trennt den Einfluß des Leistungs- und des Belastungsmaschinenhintergrundgeräusches vom Schwingungssignal der Komponentenmaschine im Test in einem ersten neuronalen Netzwerk unter einer Bedieneranalyse. Eine Diagnoseanalyse, mit einer weiteren Bedieneranleitung durch eine interaktive Schnittstelle verwendet mit einem zweiten neuronalen Netzwerk ein Hypothesenvorschau- bzw. Hypothesenfortschrittssystem und ein auf früherer Erfahrung basierendes Expertensystem, um die Reparaturhandlungsführung anzuleiten. Es gibt ein Archiv von jeglicher Erfahrung, die in dem gerade ausgeführten Testvorgang aufgenommen wird, und zwar für die Anwendung bei einem zukünftigen Test.

30 Bei der Diagnoseanalyse werden sowohl zeitbasierte als auch frequenzbasierte Schwingungssignalinformationen von der gerade getesteten Komponentenmaschine zusammen verwendet, und zwar durch eine anzeigeinteraktive Schnittstelle mit einem simultan Mehrfachsignalmerkmal unter Bedieneranleitung.

Eine erste neurale Netzwerkeinheit wird eingesetzt, in der ein Eingangssignalmuster in ein Eingangs-Ausgangs-Kreuz eintritt, welches mit dem neuronalen Netzwerk verbunden ist, wobei die Eingangslage einer Autoregressions-Parameter-Grenzsteuerung unterworfen wird, wobei die Ausgangslage einer Überwachungs- bzw. Wachsamkeits- oder Vigilanzsteuerung unterworfen ist, und wobei die Netzwerkeinheit bis zu dem Punkt resoniert bzw. Resonanz zeigt, wo das Überwachungssteuerniveau ein Signal annimmt, welches frei vom Einfluß eines Hintergrundrauschens ist, und für eine Diagnoseanalyse weitergeleitet wird.

Das Diagnosesystem setzt ein zweites neuronales Netzwerk ein, welches das Schwingungssignalmuster mit bekannten Versagensmustern vergleicht, mit bekannten Arten von allgemeinen Fehlerversagensmustern und mit Regeln und Tatsachen eines Expertensystems.

**Fig. 1** ist ein Funktionsflußdiagramm des Testsystems der vorliegenden Erfindung;

**Fig. 2** ist ein Blockdiagramm der Elemente und Merkmale des Diagnose- und Klassifizierungssystems der Erfindung;

**Fig. 3** ist eine Abbildung einer typischen Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Zeit (in Sekunden) eines typischen Schwingungsdatensignals;

**Fig. 4** ist eine Abbildung einer typischen Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Zeit (in Sekunden) eines typi-

schen Schwingungsdatensignals, und zwar folgend einem Autoregressions-Datenkondensationsvorgangs;

**Fig. 5** ist eine Abbildung einer Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Frequenz (in Hz) eines typischen Schwingungsdatensignals folgend einem Schnell-Fourier-Transformations-Datenkondensationsvorgangs (FFT-Datenkondensationsvorgang; FFT = fast fourier transform);

**Fig. 6** ist eine Abbildung einer typischen Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Frequenz (in Hz) eines typischen Autoregressions-Schwingungsdatensignals, wie in **Fig. 4** gezeigt, und zwar folgend der Umwandlung der Punkte auf eine frequenzbasierte Leistungsspektraldichtendarstellung (ARPSD-Darstellung);

**Fig. 7** ist eine Abbildung der interaktiven, vom Bediener gesteuerten Schnittstelle der Erfindung;

**Fig. 8** ist eine Abbildung der neuronalen Netzwerkeinheit für die Extraktion des Hintergrundrauschens aus dem Schwingungssignal der Erfindung.

Das Testsystem der Erfindung sieht eine Testmöglichkeit für eine Komponentenmaschine, wie beispielsweise ein Getriebe, vor. Es arbeitet mit Schwingungsdatensignalen von der Komponentenmaschine, die aus Hintergrundschwingungssignalen der mit Leistung und Last in Beziehung stehenden Funktionen extrahiert werden muß, die für den Betrieb der Komponentenmaschine durch den bezeichneten bzw. ausgelegten Bereich wichtig sind.

Es wird eine Fähigkeit für eine anfängliche zufriedenstellende oder nicht zufriedenstellende Klassifikation der Komponentenmaschine vorsehen. Es wird bei einer Komponentenmaschine, die als nicht zufriedenstellend klassifiziert oder eingeordnet worden ist, weiter die Schwingungssignalmuster untersuchen, um abnormale Signalgruppen für eine Fehleridentifikation der Komponentenmaschine heraus zu ziehen.

Aus einem abnormalen Schwingungssignalmuster wird das System der Erfindung eine Empfehlung erzeugen, welcher Defekt der Komponentenmaschine das abnormale Schwingungssignalmuster bewirkt. Die Empfehlung basiert zuerst auf dem Herausfinden einer Übereinstimmung zwischen dem hereinkommenden Signalmuster und den Signalmustern von bekannten Komponentenmaschinenkomponentenversagen, die durch frühere Komponentenmaschinentesterfahrungen bekannt wurden. Wenn keine Übereinstimmung gefunden wird, wird das abnormale Schwingungssignalmuster weiter im Vergleich mit einer Gruppe von hypothetischen Schwingungssignalen untersucht, die aus Studien von gewöhnlichen Fehlern von Komponentenmaschinen der gerade getesteten Bauart entwickelt wurden. Wenn das System der Erfindung immer noch nicht das abnormale Signalmuster identifizieren kann, wird eine Expertensystemfähigkeit als eine Führung bei der Vornahme einer Abschätzung der Reparatur dienen, die für die gerade getestete Komponentenmaschine erforderlich ist. Schließlich ist eine Fähigkeit vorgesehen, die das Archivieren von Information in dem System ermöglicht, und irgendeinen Lernvorgang aus einem gegenwärtigen Test, der bei zukünftigen Diagnosen helfen wird.

Mit Bezug auf **Fig. 1** ist ein Funktionsflußdiagramm des Testsystems der Erfindung gezeigt, wobei in einem ersten Schritt, als Element **1** bezeichnet, die Schwingungssignaldaten aufgenommen werden. Die Schwingungssignaldaten haben ihren Ursprung an einer Stelle, die innerhalb eines Rauschhintergrundes liegt. Der Rauschhintergrund ist ein wesentliches Nebenprodukt der Maschine, die die Antriebsleistung und die Last für die Funktion der gerade getesteten Komponentenmaschine vorsehen muß.

In einem zweiten Schritt, mit Element **2** bezeichnet, wird das aufgenommene Datensignal einem Vorverarbeitungsvorgang

unterworfen, der ein erstes neuronales Netzwerk einbezieht, welches im Endeffekt die Funktion besitzt, den Einfluß des Hintergrundrauschens zu entfernen, so daß es als normale Situation in den Datensignalen zu sehen ist, die die gerade getestete Komponentenmaschine darstellen. In einem dritten Schritt, mit Element **3** bezeichnet, werden die Testdaten unter Teilnahme der Steuerung einer interaktiven Bedienerchnittstelle verarbeitet. Das Testen gestattet es, daß die gerade getestete Maschinenkomponente anfänglich als zufriedenstellend klassifiziert wird, und wenn sie nicht zufriedenstellend ist, dann werden die nicht zufriedenstellenden Aspekte der Maschinenkomponente identifiziert, und schließlich werden die Identifikationsmittel, die die nicht zufriedenstellende Klassifikation zur Folge hatten, für zukünftige Tests an anderen Maschinenkomponenten archiviert.

Mit Bezug auf **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm von Elementen und Merkmalen des Diagnose- und Klassifizierungssystems mit der simultanen, interaktiven Bedieneranzeigschnittstelle der Erfindung gezeigt. In **Fig. 2** ist eine Testumgebung in gestrichelter Umrandung, als Element **4** gezeigt, in der die Komponentenmaschine im Test **5** unter Zuständen montiert ist, die gestatten, daß der Möglichkeits- bzw. Fähigkeitsbeweis der Komponentenmaschine im Test **5** zu bewerten ist. Für eine Komponentenmaschine **5**, wie beispielsweise ein Getriebe, wären diese Zustände mindestens Leistung und Last, gestrichelt als Elemente **6** und **7** gezeigt, und nicht gezeigte Gang- bzw. Getriebeeinstellungen, wobei diese die Quelle eines gewissen Rauschens in der Testumgebung **4** sind. Eine Testvorrichtungsdatensensoreinheit **8** ist benachbart zur Testvorrichtung **5** positioniert, wobei sie eine Vielzahl von Sensoren für Schwingungsdaten und Betriebsumstände enthält, und zwar mit symbolischen Verbindungen zur Testvorrichtung **5**. Eine Testumgebungsdatensensoreinheit **9** ist innerhalb der Testumgebung positioniert. Beim Nicht-Vorhandensein einer gewissen einzigartigen Geräuschquelle in der Testumgebung **4** wird die Testumgebungsdatensensoreinheit **9** mindestens die gleichen Schwingungsdatensensoren enthalten, wie die Einheit **8**, die im allgemeinen Wandler oder Beschleunigungsmesser sind, wie beispielsweise die Bauart 328CO4PCB, die mit einer Aufnahmeplatine DT2821-G-8DI in einem Standardpersonalcomputer verwendet wird, die Schwingungen, Geräusche, Kräfte, Druck usw. und andere solche Kriterien wie beispielsweise Temperatur und Schmierölzustand messen.

Der Datensignalabbildungsvorprozessor **2** führt die Funktion aus als ein erstes neuronales Netzwerk zur Verwendung, um den Einfluß des Hintergrundrauschens zu entfernen, welches in der Umgebungssensoreinheit **9** abgefühlt wird, und zwar aus dem Testvorrichtungsdatensignal, welches von der Vorrichtungssensoreinheit **8** abgefühlt wird. Im Abbildungsvorprozessor **2** werden die Signale des Hintergrundrauschens über den Kanal **10** verwendet, um eine spezielle erste neuronale Netzwerkeinheit zu trainieren, die in Verbindung mit **Fig. 8** zu beschreiben ist, um wie normal die Signale über den Kanal **10** zu erkennen, wenn die Testvorrichtungsdatensignale verarbeitet werden, die in **Fig. 8** abgefühlt wurden und über einen Kanal **11** geliefert wurden, so daß die Testvorrichtungsdatensignale, wenn sie auf dem Kanal **12** geliefert werden, frei vom Einfluß des Hintergrundrauschens in der Testumgebung sind.

Im Element **3** der **Fig. 2** sind die Merkmale des Diagnose- und Klassifizierungssystems mit der simultanen bedienerinteraktiven Anzeigschnittstelle der Erfindung abgebildet. Die Testvorrichtungsdatensignale werden über den Kanal **12** an die interaktive Schnittstelle **13** und durch sie hindurch geliefert, in der unter Steuerung des Bedieners die Datensignale in einem zweiten neuronalen Netzwerk **14** verarbeitet

werden, und zwar unter Verwendung von Diagnosetechnologien **15**, wie beispielsweise die Autoreduktion (AR), die schnelle Fourier-Transformation (FFT = fast fourier transformation), die mittlere Quadratwurzel (RMS = root mean square) und der exponentiell gewichtete, bewegliche bzw. veränderliche Durchschnitt (EWMA = exponentially weighted moving average) und die Autoreduktions-Leistungsspektraldichte (ARPSD = autoreduction power spectral density) zusammen mit einem Expertensystemeinwirkungs- und -erklärungsuntersystem, die wiederum Datenbasen **16** verwenden, wie beispielsweise Betriebszustandsgrenzen, neurale Netzwerktrainingslisten, frühere Erfahrungsmodelle von tatsächlichen Versagen, frühere Erfahrungsmodelle von typischen Versagen und Expertensystemregeln und -tatsachen.

Im tatsächlichen Testvorgang zeigt das mehrfache simultane Anzeigefähigkeitsmerkmal **17** der Schnittstelle **13**, welches genauer in Verbindung mit **Fig. 7** beschrieben werden soll, dem Bediener die Beziehung der Datensignale zu den annehmbaren Grenzen, die in der Datenbasiseinheit **16** gespeichert sind, und auf eine Anzeige hin, daß das Datensignalmuster als normal oder in anderen Worten als annehmbar angesehen wird, kann der Bediener die spezielle Komponentenmaschine im Test als akzeptabel klassifizieren lassen, in dem er dies durch die Bedienereingabefähigkeit **18** anzeigt.

In der Situation, wo die Anzeige der Beziehung der Datensignale zu den Grenzen als anders als akzeptabel angezeigt oder bewertet wird, wird die volle diagnostische Fähigkeit des Systems dann eingesetzt, und zwar unter Verwendung eines zweiten neuronalen Netzwerkes in seriell angewandten Reihen von Diagnosevorgängen. Der erste Diagnosevorgang verwendet eine Vergleichssuche für eine exakte Signalübereinstimmung mit bekannten gespeicherten Modellsignalen für tatsächliches Versagen, wie beispielsweise für ein ausgefallenes Lager in einem vorherigen Testvorgang. Wenn eine Übereinstimmung gefunden wird, wird die Vorrichtung im Test als Defekt mit einer Identifizierung des Defektes klassifiziert. Wenn keine Übereinstimmung gefunden wird, wird in einem zweiten Diagnosevorgang eine Fuzzy-Logik-Berechnung ausgeführt, um dem Bediener das nächste bekannte Muster und den Abweisungsgrad einzurichten und anzuzeigen, und zwar für eine Entscheidung bei der Klassifikation oder Einstufung der Vorrichtung im Test und eine Anzeige des wahrscheinlichen Fehlers. Wenn immer noch keine zufriedenstellende enge Datenübereinstimmung gefunden worden ist, wird ein Expertensystem eingesetzt, wobei die Regeln und Tatsachen, die in dem Datenbasiselement **16** gespeichert sind, mit einer Schnittstelle und einem Erklärungsuntersystem im Element **15** verarbeitet werden, um die engste Übereinstimmung bei der Identifizierung des Fehlers zu erreichen.

Der Bediener erhält unter Verwendung der Eingabemöglichkeit **18** ausreichende Informationen durch die Schnittstelle **13**, um die Eingabefähigkeit zu verwenden, um jede Vorrichtung im Test **5** zu klassifizieren, und zwar mit einem Fehler und einer wahrscheinlichen Reparaturanzeige, und weiter um durch Speichern in den Datenbasen im Element **16** die Beziehung des Signalmusters und des durch das Expertensystem ausgewählten Fehlers für eine zukünftige Anwendung zu archivieren.

Viele Berechnungen kommen vor bei der Anwendung der Interaktion bzw. Zusammenwirkung der Diagnosetechnologien im Element **15** im System im Prozessorelement **3** mit dem neuronalen Netzwerkelement **14**. Es gibt viele Variationen von neuronalen Netzwerkkonfigurationen in der Technik. Eine bevorzugte Art sieht das Konzept der adaptiven Resonanztheorie (ART) vor, wobei die Verarbeitung in zwei Mo-

dulen auftritt, eines für die binäre Eingangsmuster, das andere für analoge Eingangsmuster in Beziehung zu einer Zielausgangsgröße, wobei diese durch eine MAP mit einer Steuervorrichtung verbunden sind, die das Lernen und die Wachsamkeit (Vigilanz) oder den Grad der Ausgangspräzision steuert. Adaptive Resonanztheorie-(ART-) neurale Netzwerke werden beschrieben in den erwähnten ebenfalls anhängigen Anmeldungen. Bei dem Test einer Komponentenmaschine, wo es viele geringfügig unterschiedliche Modelle der Vorrichtungen geben kann, die das eine oder andere Mal zu testen sind, ist eine neurale Netzwerkkonfiguration vorteilhaft, die eine geringere Expertenaufsicht bzw. Beachtung eines Experten von einem Testvorrichtungsmodell zum anderen erfordert, wie beispielsweise die ART-Bauart.

Beim Gesamtbetrieb sammelt das Testsystem der **Fig. 1** und **2** kontinuierlich gemultiplexte Betriebsdaten für eine Bewertung durch eine neurale Netzwerkverarbeitung. Die Betriebsschwingungsdaten enthalten ein weites Spektrum von Daten, die die kritischen Datenmuster umgeben, die die wichtige Information für den Klassifizierungs- und Bewertungsvorgang enthalten. Vorteile werden erreicht durch Filtern, Kondensieren bzw. Verdichten und graphische Darstellung bzw. Kurvendarstellung der Daten mit Bezug auf die Zeit und die Frequenz bei der Verringerung der Berechnungsressourcen, beim Herausziehen von mehr Information und bei einer verbesserten Kommunikation mit dem Bediener durch die mehrfache simultane Anzeige.

Das System erfordert eine gewisse Initialisierung.

Die Schwingungsdaten können filterbare, identifizierbare Fremddaten enthalten, die nicht mit der Maschine in Beziehung stehen, und die Berechnungsressourcen verbrauchen können, jedoch durch Standardfiltertechniken entfernt werden können.

Der kontinuierliche Datenstrom ist einem Standardsampling- bzw. Aufnahme- und Abbildungs- bzw. Frame-Vorgang unterworfen, der Signalfenster vorsieht, die alle wichtigen Daten enthalten, die jedoch klein genug für eine normale Berechnungszeit sind. Ein idealer Sampling- bzw. Aufnahmevorgang wird alle Signalmerkmale in einem Minimum von Punkten wiedergeben. Die ideale Einzelaufnahme (frame) wird die gesamte Aufnahme jedoch nicht mehr enthalten.

In dem Diagnosetechnologieelement **15** werden von den aufgelisteten Technologien die schnelle Fourier-Transformation (FFT) und die mittlere Quadratwurzel (RMS) in der Technik weithin verwendet, und erfordern keine Erklärung; EWMA bzw. das exponentiell gewichtete bewegliche Mittel wird in den erwähnten ebenfalls anhängigen Anmeldungen beschrieben. Die Autoregressions-(AR)-Technologie erfordert, daß eine AR-Reihenfolge bzw. AR-Ordnung in einer kondensierten bzw. verdichteten und erneut angeordneten Aufnahme (sample) von Punkten in der Zeitreihenfolge moduliert wird, in der eine niedrige (AR-) Ordnung gewöhnlicherweise eine Modellierung von nur den höheren Frequenzen zur Folge hat, eine hohe (AR-) Ordnung im wesentlichen alle aufweist, und eine extensive, am Rand nützliche Berechnung zur Folge hat, und eine moderate (AR-) Ordnung die Fähigkeit vorsehen wird, spezielle Optionen einzuschließen. Die (AR-) Reihenfolge bzw. Ordnung kann eine ganze Zahl zwischen 7 und so vielen Datenpunkten wie in der Analyse verfügbar sein. Für eine Maschinenkomponente wie beispielsweise ein Getriebe, wird eine moderate (AR-) Ordnung von 40 bevorzugt. Solche (AR-) Ordnungseinträge werden in dem Datenbasenelement **16** zur Anwendung bei den Training des neuronalen Netzwerkes gespeichert.

Eine Kommunikation mit dem Bediener wird verbessert, wobei die Informationsvorteile bei verschiedenen Arten von

Schwingungsdatensignalen simultan verfügbar sind.

In den **Fig. 3–6** sind Kurvendarstellungen von verschiedenen Arten von Schwingungsdatensignalen gezeigt, die in der Erfindung eingesetzt werden. Mit Bezug auf die **Fig. 3–6** ist in **Fig. 3** eine Abbildung einer Kurvendarstellung einer Größe gegenüber der Zeit (in Sekunden) eines typischen Schwingungsdatensignals gezeigt, und zwar getrennt durch Linien über der Kurvendarstellung, die die Aufnahme Einzelbilder (sample frames) anzeigen. In **Fig. 4** ist eine Abbildung eines einzelnen Einzelbildes einer Kurvendarstellung einer Größe gegenüber der Zeit (in Sekunden) des Signals der **Fig. 3** gezeigt, und zwar folgend einem Autoregressions-Datenkondensationsvorgangs. In **Fig. 5** ist eine Abbildung eines einzelnen Einzelbildes einer Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Frequenz (in Hz) des Schwingungsdatensignals der **Fig. 3** gezeigt, und zwar folgend auf einen schnellen Fourier-Transformations-(FFT)-Datenkondensationsvorgang. In **Fig. 6** ist eine Abbildung einer Kurvendarstellung der Größe gegenüber der Frequenz (in Hz) des Autoregressions-Schwingungsdatensignals abgebildet, wie in **Fig. 4** gezeigt, und zwar folgend auf die Umwandlung der Punkte in eine frequenzbasierte Autoregressionsleistungsspektraldichten-(ARPSD-)Kurvendarstellung.

Es gibt eine Anzahl von Merkmalen, die bei der Bewertung und Diagnose einer Maschinenkomponente nützlich sind, die zur Entscheidungsfindung verfügbar werden, wenn eine kombinierte zeit- und frequenzbasierte Kurvendarstellung zusammen und gleichzeitig angezeigt wird. Das zeitbasierte Autoregressionssignal enthält eine Phasenbeziehung, während Daten kondensiert werden und eine inhärente bzw. innewohnende Filterung veranschaulicht wird. Bei Schwingungsdaten ist eine Phasenverschiebung in den Schwingungssignalen beobachtet worden, wenn eine sich drehende Maschine in einem mit Öl gefüllten Gehäuse wie bei einem Getriebe arbeitet.

Die frequenzbasierte Kurvendarstellung nimmt die Größe und die augenblickliche Leistung auf, und in Anwesenheit einer zeitbasierten Kurvendarstellung werden gefilterte Merkmale offensichtlich. Eine Anzeigefähigkeit für alle der Datenbewertungsarten, wie in den **Fig. 4–6** abgebildet, verbessert die Fähigkeit des Bedieners, zu diagnostizieren und zu klassifizieren, und es können Bediener mit unterschiedlichen Fähigkeiten aufgenommen bzw. eingesetzt werden.

In **Fig. 7** ist eine Abbildung der kombinierten mehrfachen simultanen Anzeigefähigkeit und der Bedienereingabefähigkeit der interaktiven, vom Bediener gesteuerten Schnittstelle der Erfindung gezeigt. Die Schnittstelle sieht eine Diagnose- und Warnniveauiinformation für den Bediener vor und empfängt interaktive Diagnose- und Klassifizierungsinformationen für das System vom Bediener. Mit Bezug auf **Fig. 7** gibt es als Teil der Schnittstelle **13** der **Fig. 2** eine mehrfache gleichzeitige Merkmalanzeigefähigkeit **20**, die als ein Monitor mit acht Fenstern **21–28** gezeigt ist, obwohl klar ist, daß ein getrennter Monitor für jedes Fenster eingesetzt werden könnte. Die Anzeigefähigkeit ist derart angeordnet, daß sie im Blickfeld einer Bedieneringabemöglichkeit **29** ist, beispielsweise als eine Tastatur abgebildet. Das Fenster **21** zeigt das zeitbasierte Diagnosesystem-Eingangsschwingungsdatensignal an. Das Fenster **22** bildet eine Autoregressions-(AR-)Parameterkurvendarstellung des Signals des Fensters **21** ab. Das Fenster **23** zeigt eine exponentiell gewichtete, bewegliche bzw. verschiebbliche Mittelwert-(EWMA-)Kurvendarstellung des Signals des Fensters **21** an. Das Fenster **24** zeigt eine mittlere Quadratwurzel-(RMS-)Kurvendarstellung des Signals des Fensters **21** an. Das Fenster **25** zeigt mindestens ein Element der Daten an, die den Bediener über eine Veränderung des Zustandes der Maschine informieren würde, wie beispielsweise der Tempera-

tur, Druck und Ölzustand, wie beispielsweise durch eine Veränderung der dielektrischen Konstantenwerte gemessen werden könnten. Das Fenster **26** zeigt eine Warnkommunikation an, daß die Daten anzeigen, daß die Grenzen überschritten werden, oder daß man sich ihnen nähert, und daß eine Entscheidung erforderlich sein kann. Das Fenster **27** zeigt eine schnelle Fourier-Transformations-(FFT-)Kurvendarstellung des Signals des Fensters **21** an und das Fenster **28** zeigt eine Autoregressionsleistungsspektraldichten-(ARPSD-)Kurvendarstellung des Signals des Fensters **21** an.

Die verschiedenen Signalarten haben den folgenden Nutzen für den Bediener. Das Signal im Fenster **21** gestattet, daß der Bediener das Schwingungsdatensignalmuster anschaut. Das Signal im Fenster **22** gestattet, daß der Bediener eine Kurvendarstellung eines zeitbasierten Signals sieht, welches eine Phasenbeziehung enthält und auch das Signal zeigt, welches die Diagnosebasis sein würde. Das Signal im Fenster **23** gestattet, daß der Bediener die gegenwärtige Leistung im Schwingungsdatensignal mit Beziehung auf die früheren Trends sieht, und ob ein Zustand gerade aufgetreten ist oder schnell schlecht wird. Das Signal im Fenster **24** gestattet, daß der Bediener die augenblickliche Leistung im Schwingungsdatensignal sieht. Das Signal im Fenster **25** gestattet, daß der Bediener sieht, ob es irgendeine Veränderung in den stationären Betriebszuständen der beteiligten Ausrüstungsgegenstände gibt. Das Signal im Fenster **26** enthält gewöhnlicherweise Indikatoren, die die anderen Signalkurvendarstellungen zusammenfassen, und eine Anzeige der Schwere des Problems, wie beispielsweise ein rotes Licht für das Überschreiten einer Grenze, ein gelbes Licht für die Nähe zu einer Grenze und ein grünes Licht für einen zufriedenstellenden Zustand. Das Signal in den Fenstern **27** und **28** gestattet es, daß der Bediener simultan eine zeitbasierte und eine frequenzbasierte Kurvendarstellung des Schwingungsdatensignalmusters verwendet. Viele Fehler können aus den Anzeigen des Fensters **27** und **28** alleine bestimmt werden, was eine Diagnose und Klassifizierung mit weniger Verarbeitung und eine wirkungsvolle Anwendung der Bediener mit unterschiedlichen Wissenständen gestattet. In der Situation einer Komponentenmaschine, wie beispielsweise einem Getriebe, könnte in der Anzeige etwas vorgesehen werden, um einen speziellen Gang anzuzeigen.

In **Fig. 8** ist eine Abbildung der ersten neuralen Netzwerkeinheit der Erfindung zum Herausziehen des Hintergrundschwingungssignals gezeigt. In **Fig. 8** weist die erste neurale Netzwerksignalextraktionseinheit **30** eine Eingangslage **31** und eine Ausgangslage **32** der neuralen Prozessorsummierungsvorrichtungen auf, und zwar in einer Menge, die einem ausgewählten Datensignal aufgenommenen Muster entspricht, von dem beispielhafte sechs Eingabe-Ausgabe-Pfade **33–38** gezeigt sind.

Jede Eingabevorrichtung in der Lage **31** ist mit jeder Ausgabevorrichtung in der Lage **32** verbunden, und jede Ausgabevorrichtung in der Lage **32** ist mit jeder Eingabevorrichtung in der Lage **31** verbunden, und zwar durch in der Technik standardmäßige gewichtete Verbindungen.

Die Funktion der neuralen Netzwerkextraktionseinheit **30** ist es, die darauf folgende Verarbeitung der Schwingungsdatensignale im Prozessor **14** der **Fig. 2**, die Hintergrunddatensignale als normale Signale erkennen zu lassen. Die Verarbeitung wird dann auf die Testvorrichtungsdatensignale fokussiert.

Das Hintergrunddatensignalmuster über dem Kanal **10** der **Fig. 2** wird auf die Anschlüsse **39–44** durch eine in der Technik standardmäßig vorgesehene Autoregressionstechnik, bezeichnet mit Element **45**, aufgebracht, wie beispielsweise genau in den erwähnten ebenfalls anhängigen Anmel-

dungen im Detail beschrieben. Vorwärts- und Rückwärts- (AR-)Ordnungsparameter, entsprechend den oberen und unteren begrenzenden Autoregressionsparametern, werden eingerichtet und auf die Eingangsanschlüsse 46–51 aufgebracht. Jeder Eingangsknoten in der Lage 31 beginnt ein Signal proportional zu seiner Eingangsgröße zu erzeugen. Jeder Ausgangsknoten in der Lage 32 empfängt Signale von der Eingangslage 31, und zwar eingestellt durch die Stärke der Verbindungen, und jeder Ausgangslagenknoten gibt ein Signal an alle Knoten der Eingangslage 31 über einen weiteren Satz von Verbindungen zurück, wodurch eine Resonanz zwischen den Lagen 31 und 32 aufgebaut wird. Ein Auslösungsniveau wird durch einen Wachsamkeits- bzw. Vigilanzfaktor 52 vorsehen. Der Vigilanz- bzw. Wachsamkeitsfaktor 52 bestimmt, wie viele Ausgangssignale erforderlich sind, um ein Signalmuster die Autoregressionsparametergrenzen zufriedenstellen zu lassen. Ein Beispiel von fünf der sechs Pfade 33–38 ist als Beispiel bei den Anschlüssen 53–57 gezeigt, die wiederum durch den Kanal 12 der Fig. 2 in den Prozessor 14 verbunden bzw. geleitet werden.

Wenn der Wachsamkeitsfaktor im Element 52 hoch ist, bewegt sich die Netzwerkeinheit 30 für lange Perioden beim Suchen einer exakten Übereinstimmung, während, wenn der Wachsamkeitsfaktor zu niedrig ist, die Netzwerkeinheit 30 zu viel der Hintergrundschwingung als abnormal berücksichtigen würde, und zu viel der Netzwerkberechnungsressourcen verwenden würde. Der Wachsamkeitsfaktor 52 ist eine Zahl zwischen 1 und 10, wobei 5 bei dieser Anmeldung zufriedenstellend ist.

Das Ergebnis der Vorverarbeitung des Elementes 30 ist, daß in dem an den Prozessor 3 über den Kanal 12 gelieferte Schwingungsdatensignal der Einfluß des Hintergrundumgebungs signals als ein normaler Zustand neutralisiert worden ist.

Was beschrieben worden ist, ist eine Komponentenmaschinentesttechnik, die eine Diagnoseanalyse an einem Schwingungssignal einer Komponentenmaschine ausführt, aus dem der Einfluß des Leistungs- und Belastungsmaschinenhintergrundrauschens in einem ersten neuronalen Netzwerk extrahiert worden ist. Bei einer Diagnoseanalyse unter Anweisung eines Bedieners durch eine interaktive Schnittstelle wird ein zweites neuronales Netzwerk verwendet, um eine serielle Reihe von Diagnoseansätzen vorzusehen, und zwar bei der Kategorisierung bzw. Einordnung der Komponentenmaschine und bei einem Anweisungsvorgang mit Bezug darauf, und zwar gefolgt durch die Archivierung irgendeiner Erfahrung, die in dem gerade ausgeführten Testvorgang aufgenommen bzw. erreicht worden ist.

Andere Aspekte, Ziele und Merkmale der vorliegenden Erfindung können aus einem Studium der Zeichnungen, der Offenbarung und der beigefügten Ansprüche erhalten werden.

Zusammenfassend kann man folgendes sagen: Eine Komponentenmaschinentesttechnik ist vorgesehen, die eine Diagnoseanalyse eines Schwingungssignals der Komponentenmaschine ausführt, die von dem Leistungs- und Belastungsmaschinenhintergrundrauschen in einem ersten neuronalen Netzwerk getrennt worden ist. Die Diagnoseanalyse verwendet mit einer Bedienerranweisung durch eine interaktive Schnittstelle ein zweites neuronales Netzwerk bei der Ausführung einer Reihe von Diagnosevorgängen, und zwar gefolgt durch eine Archivierung von irgendeiner Erfahrung, die in dem gerade ausgeführten Testvorgang aufgenommen wurde.

Bei der Diagnoseanalyse werden sowohl zeit- als auch frequenzbasierte Schwingungssignalinformationen von der gerade getesteten Komponentenmaschine zusammen unter Anweisung des Bedieners durch eine simultane interaktive

Schnittstelle mit mehrfacher Anzeige verwendet.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bewertung und Diagnose einer Komponentenmaschine, die Teil einer größeren Maschine ist, wobei die Diagnose und Bewertung durch eine Analyse eines neuronalen Netzwerkes eines Schwingungsdatensignals geschieht, um abnormale Signalmuster in den Schwingungsdaten zu identifizieren, wobei in Kombination folgendes vorgesehen: erste Abfühlmittel, die angeordnet sind, um die Schwingungsdatensignale abzufühlen, die von der Komponentenmaschine erzeugt werden; zweite Abfühlmittel die getrennt von den ersten Abfühlmitteln positioniert sind, um die Hintergrundrauschschwingungsdaten in der Nachbarschaft der Komponentenmaschine abzufühlen; erste neurale Netzwerkverarbeitungsmittel, um irgendeinen Einfluß des abgefühlten Hintergrundgeräusches in den abgefühlten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignalen als normal zu erkennen bzw. normal zu machen; und eine Verarbeitungsstufe zur Bewertung und Diagnose, wobei die Verarbeitungsstufe folgendes aufweist: ein interaktives Schnittstellenglied mit mindestens einem Merkmal einer simultanen mehrfachen Signalanzeige und Bedienereingabe und Mittel zum Empfang des vorverarbeiteten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignals; und ein zweites neuronales Netzwerk mit assoziierten Diagnosetechnologiebetriebssystemen und unterstützenden Datenbasen zur Bewertung und Verarbeitung von Bestimmungen, basierend auf den Signalmustern in dem Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignal, welches in dem zweiten neuronalen Netzwerk identifiziert worden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Normalmachen bzw. Normalisieren von irgendeinem Einfluß des abgefühlten Hintergrundrauschens in den abgefühlten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignalen in dem ersten neuronalen Netzwerk durch eine Autoregressionsparameterauswahl geschieht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die mehrfache Anzeige ein Computermonitor mit mehreren Fenstern ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die ersten und zweiten Abfühlmittel jeweils Beschleunigungsmeßvorrichtungen aufweisen.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die Bedienereingabemittel eine Tastatur sind.
6. Verfahren zur Bewertung und Diagnose einer Komponentenmaschine, die ein Teil einer größeren Maschine ist, wobei die Diagnose und Bewertung durch eine neurale Netzwerkanalyse eines Schwingungsdatensignals geschieht, um abnormale Signalmuster in den Schwingungsdaten zu identifizieren, wobei das Verfahren in Kombination folgende Schritte aufweist: Abfühlen von Schwingungsdatensignalen an einer Stelle einer Komponentenmaschine; Abfühlen von Hintergrundrauschschwingungsdatensignalen an einer Stelle in der Nähe der Komponentenmaschine, Vorsehen eines ersten neuronalen Netzwerkvorprozessors, um irgendeinen Einfluß des abgefühlten Hintergrundrauschens in den abgefühlten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignalen normal zu

machen bzw. zu normalisieren; und  
 Verarbeiten der abgefühlten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignale zur Bewertung und Diagnose, wobei die Verarbeitung folgendes aufweist:  
 Ansehen einer simultanen mehrfachen Signalanzeige und Eingeben von Antworten bzw. Ansprechen basierend auf den Informationen in der Anzeige. 5  
 7. Verfahren nach Anspruch 6, welches den Schritt aufweist, irgendeinen Einfluß des abgefühlten Hintergrundrauschens in den abgefühlten Komponentenmaschinen-Schwingungsdatensignalen durch eine Autoregressionsparameterauswahl normal zu machen. 10  
 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, welches den Schritt aufweist, einen Computermonitor mit mehreren Fenstern als die Mehrfachanzeige vorzusehen. 15  
 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 6, welches den Schritt aufweist, Beschleunigungsmeßvorrichtungen für die ersten und zweiten Abfühlmittel vorzusehen. 20  
 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 6, welches den Schritt aufweist, eine Tastatur für die Bedieneringabemittel vorzusehen. 25  
 11. Schwingungsdatenverarbeitungselement zum Extrahieren von Hintergrundschwingungssignalen aus speziellen Schwingungssignalen, die von einer speziellen Quelle herrühren, und die aufeinanderfolgend in einem neuronalen Netzwerk verarbeitet werden, wobei in Kombination folgendes vorgesehen ist:  
 Mittel zum Abfühlen in einer ersten Abfühleinheit von den speziellen Schwingungssignalen an einer ersten Stelle, wobei die erste Stelle benachbart zu der speziellen Quelle von speziellen Schwingungssignalen ist; 30  
 Mittel zum Abfühlen in einer zweiten Abfühleinheit von den Hintergrundschwingungssignalen, wobei die zweite Abfühleinheit getrennt und entfernt von der Quelle von speziellen Schwingungssignalen positioniert ist; 35  
 Mittel, die eine Autoregression vorsehen, um ein minimales und maximales Erwartungssignal zu erzeugen, welches die Hintergrundschwingungssignale in den abgefühlten Hintergrundschwingungssignalen darstellt, und das Ableiten von normalen Erwartungsbereichssignalen davon; 40  
 ein neurales Netzwerkglied; 45  
 wobei das neurale Netzwerkglied eine Eingangslage von Verarbeitungselementen besitzt, und zwar jeweils mit einem Eingangsanschluß, wobei der Eingangsanschluß mit einem Erwartungsbereichssignal von den Erwartungsbereichssignalen versorgt bzw. beliefert wird; 50  
 wobei das neurale Netzwerkglied eine Ausgangslage von Verarbeitungselementen besitzt, und zwar jeweils mit einem Ausgangsanschluß; 55  
 wobei jedes Verarbeitungselement in der Eingangslage mit jedem Verarbeitungselement in der Ausgangslage verbunden ist; und  
 wobei jedes Verarbeitungselement in der Ausgangslage mit jedem Verarbeitungselement in der Eingangslage verbunden ist; und 60  
 eine Vigilanz- bzw. Wachsamkeitsstufe, die in jedem Ausgangsanschluß und einem entsprechenden Eingangsanschluß der darauf folgenden neuronalen Netzwerkverarbeitung positioniert bzw. angeordnet ist, wobei die Stufe auf einen Vigilanz- bzw. Wachsamkeitsfaktor anspricht und betreibbar ist, um Ausgangssignale basierend auf einem erforderlichen Teil von allen möglichen Ausgangssignalen an den Ausgangsan-

schließen zu übergeben.  
 12. Vorrichtung zur Diagnose und Bewertung einer Maschine durch eine neurale Netzwerkanalyse eines Schwingungsdatensignals der Maschine, um abnormale Signalmuster zu identifizieren, wobei folgendes vorgesehen ist:  
 eine Schwingungsdatensignalvorverarbeitungsstufe, die ein neurales Netzwerk mit ausgewählten Autoregressions- und Vigilanz- bzw. Wachsamkeitsfaktoren aufweist, die betreibbar ist, um spezielle Schwingungsdatensignalmuster in dem Schwingungsdatensignal als normal zu identifizieren.  
 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 12, wobei der Autoregressionsfaktor von 7 bis zur maximalen Länge der Analyse reicht, und wobei der Vigilanz- bzw. Wachsamkeitsfaktor zwischen 0 und 1 läuft, und zwar mit vollständiger Auswählbarkeit durch den Anwender.  
 14. System, in dem Schwingungsdaten von einer Maschine gesammelt werden und dann durch einen neuronalen Netzwerkprozessor bei Diagnose- und Bewertungsbestimmungen der Maschine verarbeitet werden, wobei folgendes vorgesehen ist:  
 eine Schnittstelle für eine Bedienergegenwirkung mit dem System, die in dem System positioniert ist, und zwar zwischen dem Eingang der Schwingungsdaten und dem Prozessor, wobei in Kombination folgendes vorgesehen ist;  
 Eingangsmittel, die zur manuellen Eingabe einer Bedieneranweisung in das System geeignet sind; und  
 Anzeigemittel, die eine Vielzahl von mindestens zwei getrennten Datensignalanzeigemöglichkeiten und getrennten Zustandsindikatoranzeigemöglichkeiten aufweist, wobei die Anzeigemittel im Blickfeld des Bedieners positioniert sind, wenn der Bediener in Reichweite der Eingabemittel ist.  
 15. Schnittstelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 14, wobei die mindestens zwei getrennten Anzeigemöglichkeiten zeitbasierte und frequenzbasierte Schwingungsdatensignale aufweisen.  
 16. Schnittstelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 14, wobei die getrennten Anzeigemöglichkeiten das zeitbasierte Diagnosesystemeingangsschwingungsdatensignal aufweisen, eine Autoregressions-(AR-)Parameterkurvendarstellung dieses Signals, eine schnelle Fourier-Transformations-(FFT-)Kurvendarstellung des Signals, eine Autoregressionsleistungsspektraldichten-(ARPSD-)Kurvendarstellung des Signals, eine exponentiell gewichtete, bewegliche bzw. verschiebbliche Mittelwert-(EWMA-)Kurvendarstellung des Signals, eine mittlere Quadratwurzel-(RMS-)Kurvendarstellung des Signals, mindestens ein Zustandsüberwachungssignal der Maschine aus folgender Gruppe: Temperatur, Druck und dielektrische Konstante des Öls und den Zustandsindikator.

---

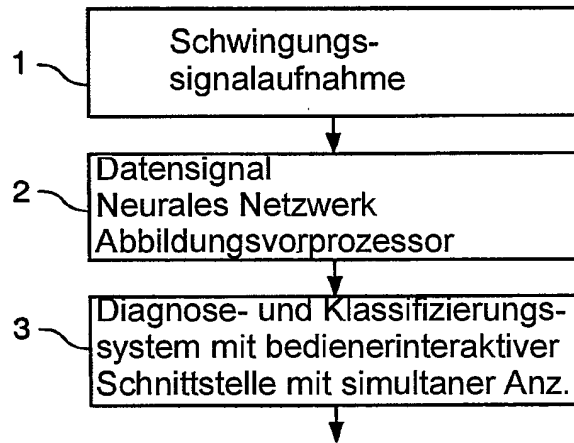
Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

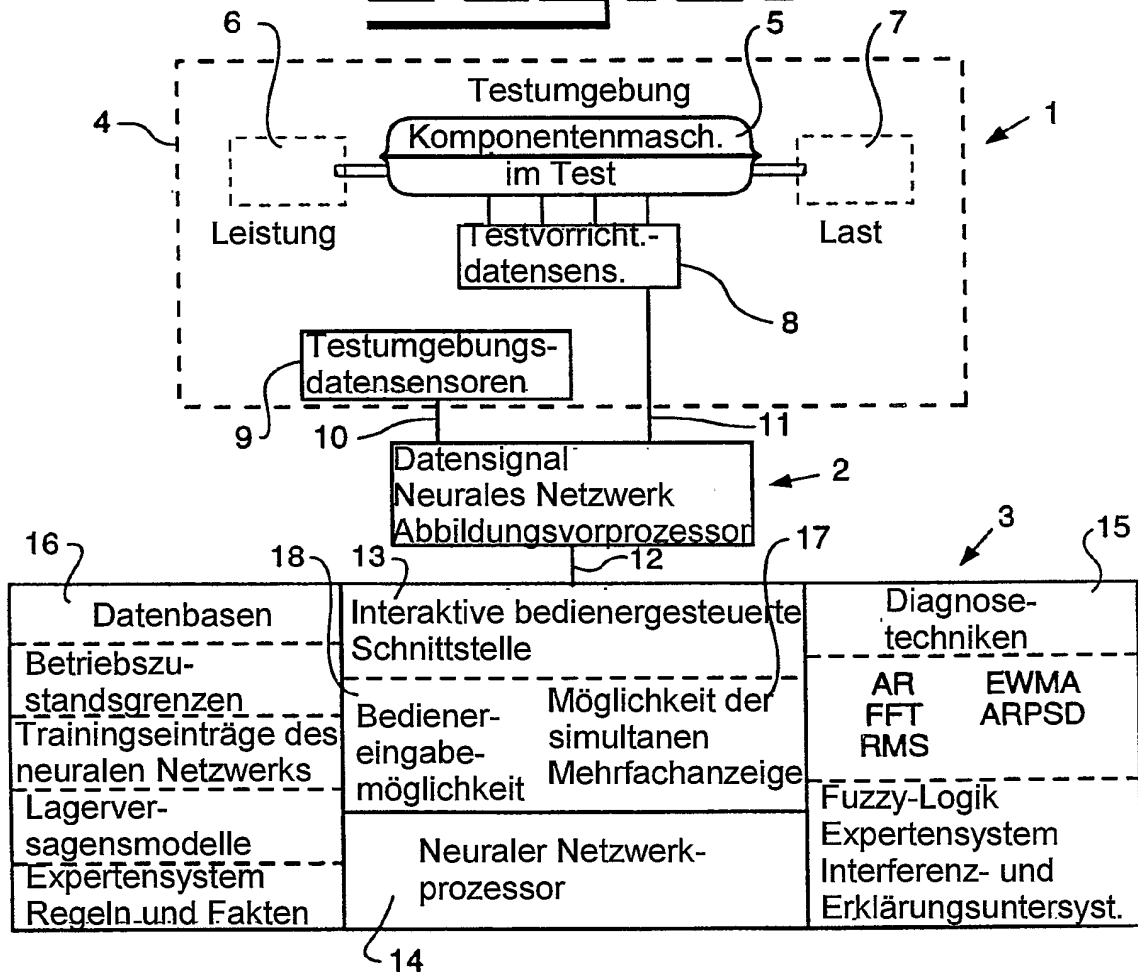
- Leerseite -



**FIG. 1**



**FIG. 2**



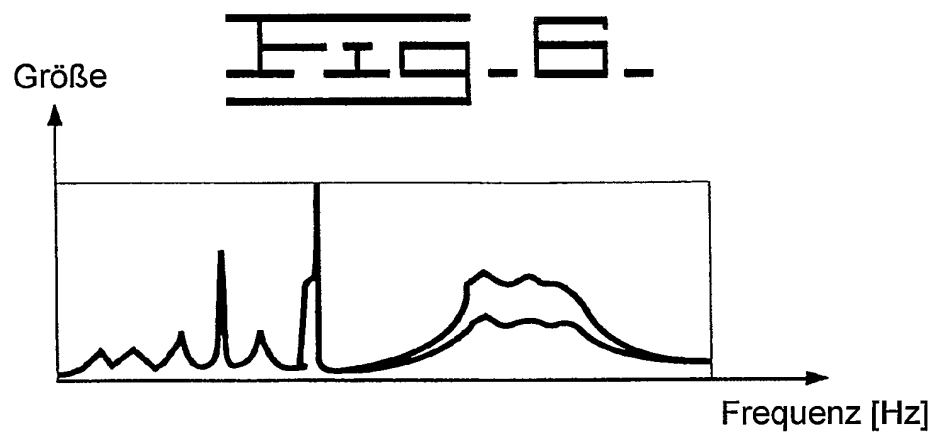
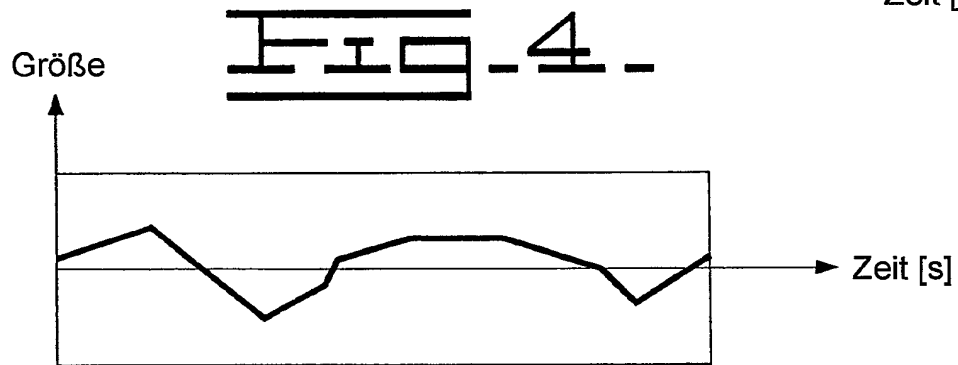
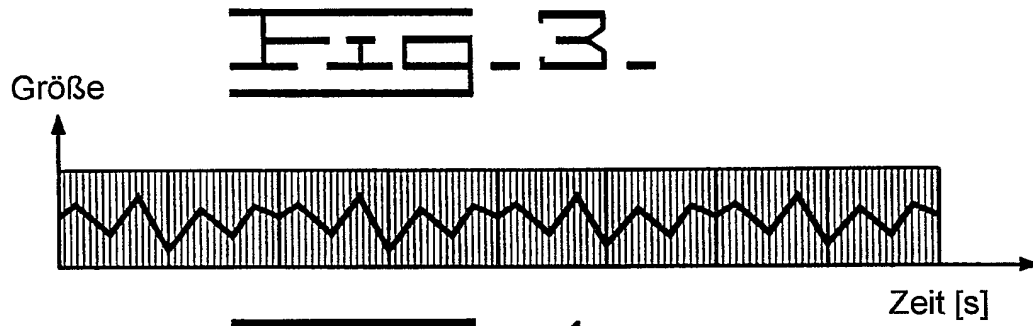
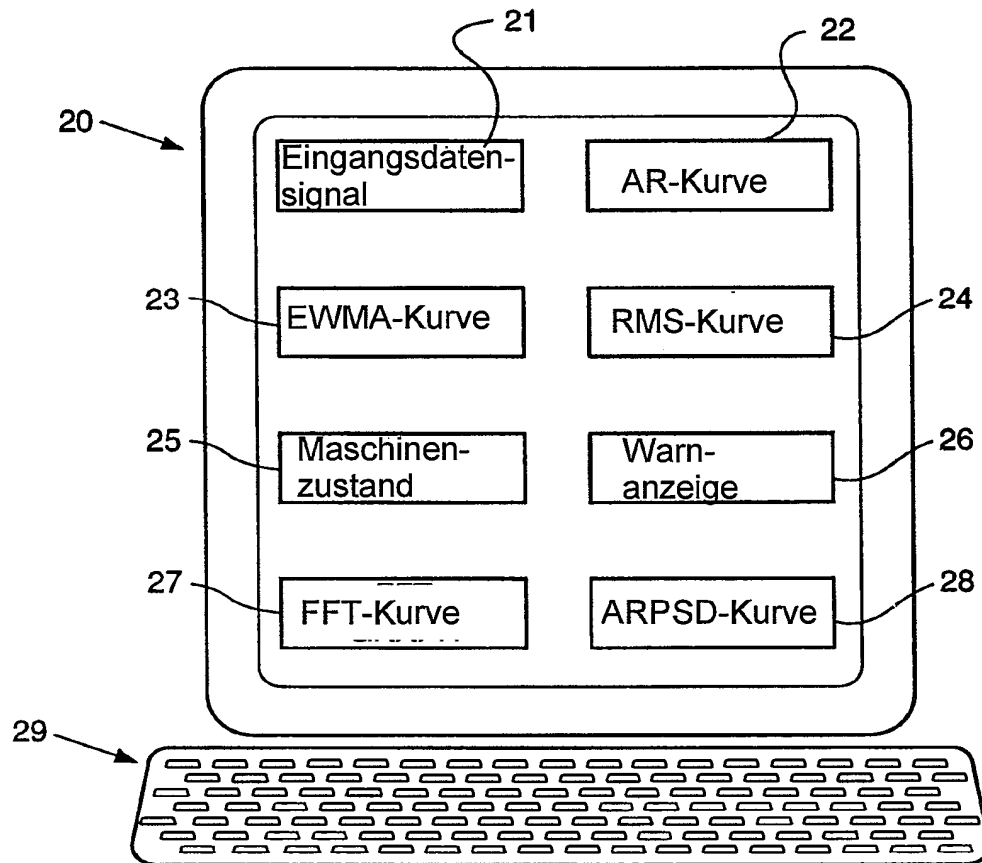


Fig. 7.



**Fig. 1**

